

## SAC İMALATINDA KARŞILAŞILAN YAPIŞMA PROBLEMİNİN DENEY TASARIMI İLE ÇÖZÜMÜ

### *SOLVING ADHESION PROBLEM IN METAL SHEET MANUFACTURING WITH DESIGN OF EXPERIMENTS*

Gülşen AKMAN<sup>(1)</sup>, Coşkun ÖZKAN<sup>(2)</sup>

<sup>(1,2)</sup>Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi

<sup>(1)</sup>akmang@kocaeli.edu.tr, gulsenakman@yahoo.com, <sup>(2)</sup>cozkan@kocaeli.edu.tr

**ÖZET:** Bu çalışma düşük karbonlu yassı çelik üretimi yapan yarı entegre bir firmada gerçekleştirilmiştir. Firmanın üretim süreçlerinden biri olan yassı çelik ısıtılmasının yapıldığı yeni bir tavlama fırını devreye alınmıştır. Yeni tavlama fırını devreye alındıktan sonra, ürün kalitesini önemli ölçüde etkileyen yapışma problemi ortaya çıkmıştır. Bu problemin oluşmasına neden olan faktörleri tespit etmek ve bu problemi ortadan kaldıracak en uygun üretim parametrelerini belirlemek için kalite geliştirme araçlarından biri olan deney tasarımı yaklaşımı kullanılmıştır. Deney tasarımının kullanılması ile daha az deney sayısı ile ve daha kısa sürede hedefe ulaşmak amaçlanmıştır. Uygulama kısmında Deney Tasarımı yaklaşımıyla problem analiz edilmiş, sonuçlar değerlendirilerek yorumlanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Ürün İyileştirme; Kalite Geliştirme; Deney Tasarımı; Faktöriyel Tasarım

**ABSTRACT:** This study is carried out in a semi-integrated firm manufacturing low carbon flat steel. A new annealing furnace was engaged. This furnace performs flat steel annealing process which is one of the manufacturing processes of the firm. Nevertheless, the firm is faced with adhesion problem affecting product quality dramatically. To determine factors lead to this problem, and to find most appropriate manufacturing parameters in order to abolish this problem, design of experiment approach is used. Here, achievement objective is aimed by less experiments number and in shorter time. In application section, problem was analyzed by design of experiments approach and results were evaluated and commented.

**Keywords:** Product Improvement; Quality Development; Design of Experiments; Factorial Design

**JEL Classification:** C93

### 1. Giriş

Globalleşme, iletişim teknolojilerinin hızla gelişmesi, teknolojinin hızlı ilerlemesiyle birlikte ürün ve hizmet üreten kuruluşlar arasında büyük ve kıran kırana bir rekabet baş göstermiştir. Böyle bir ortamda karlılıklarını ve varlıklarını sürdürmek isteyen firmalar, müşteri memnuniyetini en iyi şekilde sağlayacak, düşük maliyetli, yüksek kaliteli ve güvenilir ürünler üretmeyi veya hizmetler sunmayı amaçlamaktadırlar (Hamzaçebi ve Kutay, 2003). Bu amaca ulaşabilmek için ürün tasarımına odaklanmak gerekmektedir. Daha ürün tasarım aşamasında kaliteyi tasarlamak ve bunu gerçekleştirmek, üretilen ürünlerin muayene edilip uygun veya uygun değil şeklinde ayrılmasından ve tekrar işlenmesinden daha ucuza mal olmaktadır. Çünkü kaliteyi muayene ile sağlamanın maliyeti yüksektir. Düşük maliyetli ve yüksek kaliteli ürünler üretmek amacıyla teknoloji ve istatistiksel yöntemlerin birlikte

kullanılmasında yarar vardır (Margavio ve Margavio, 1993). Bu amaçla geliştirilmiş ve şimdiye kadar başarılı bir şekilde uygulanmış birçok kalite geliştirme tekniği bulunmaktadır. Deney Tasarımı (DT) bu tekniklerinden biridir.

DT yöntemi 1930'larda Sir Ronald Fisher tarafından geliştirilmiş ancak ilk kez, değişkenliğin azaltılması için Taguchi tarafından kullanılmıştır. Taguchi tarafından geliştirilen kalite sistemi 1950'li yıllarda savaş sonrası Japonya'nın telefon sistemi üzerinde yeniden yapılanma sürecinde uygulanmış ve son derece başarılı sonuçlar elde edilmiştir (Saat, 2000). 1980'lerden beri de ABD ve Avrupa'da, kalitenin daha tasarım aşamasında sağlanması amacı ile DT teknikleri kullanılmaktadır. DT metodu bugün birbirinden farklı alanlarda optimizasyon ve karar verme amacı ile kullanılmaktadır (Hamzaçebi ve Kutay, 2003).

Bahloul vd. (2006), yaptıkları çalışmalarında bükme işlemi sırasında araçlar tarafından parçaya uygulanan kuvveti en küçüklemek ve maksimum gerilimi en küçüklemek için deney tasarımına dayanan cevap yüzeyi yöntemi kullanılmıştır. Dixon vd. (2006) tıbbi cihaz üretimi sürecinde deney tasarımını kullanmışlardır. Rojas vd. (2007) çalışmalarında dinamik sistem tanımlı min-max robust deney tasarımı fikrini geliştirmişlerdir. Anawa ve Olabi (2008)'nin çalışmalarında, Taguchi yaklaşımını bir istatistiksel deney tasarımı tekniği olarak, belirlenmiş kaynaşma kesimi ile ilgili olarak gerekli kaynak parametrelerini belirlemek için kullanılmıştır. Cheng vd. (2008) ise, farklı boyutlarda alt katmanın tortulaşmış silikon filmin kalınlık sapmasını minimize etmek için süreç parametrelerinin optimizasyonu amacıyla sayısal bir modeli Taguchi metodunun dinamik modeli ile entegre etmişlerdir. Oudjene ve Ben-Ayed (2008) ise Taguchi deney tasarımı yöntemini perçinleme ortak direnci üzerinde ve perçinleme şekli üzerinde takım geometrisinin etkilerini incelemek için kullanmışlardır. Rosa vd. (2009), titanyum kablolarda bakır elektropozisyonu konusunda titanyum yüzey hazırlama, mevcut katodik yoğunluğu bakır sülfat ve sülfürik asit konsantrasyonlarının elektrik yoğunluğunun ve çözelti karışımının elektrodepozitin yapışması üzerindeki etkilerini L16 Taguchi metodunu kullanarak incelemişlerdir. Bu çalışmaları çoğaltmak mümkündür.

Türkiye'de yapılan çeşitli çalışmalarda da DT yöntemi kullanılmıştır. Örneğin, Hamzaçebi ve Kutay (2003), Taguchi metoduna genel bir bakış açısı ile metodun sistematizasyonu açıklamışlar, uygulamada ise, Dizdar'ın (1998), üretim sistemlerindeki olası iş kazalarının tahminine yönelik araştırmasında derlediği verileri kullanarak yöntemin işleyişini göstermişlerdir. Savaskan vd. (2004) yaptıkları çalışmalarında, ince sert seramik kaplı (TiAlN ve TiN) matkap uçlarının performans optimizasyonu örneğini ele alarak hedeflenen optimum noktaya ulaşabilmek için endüstriyel ortamda en önemli faktörler olan kaplama türü, kesme hızı ve ilerleme hızının etkilerini Taguchi Deney Tasarımı tekniği yardımı ile incelemişlerdir. Baynal ve Terzi (2005) ise çok seviyeli değişkenlerin ve çoklu kalite amaçlarının bulunduğu endüstriyel bir üretim sürecinin kalite özelliklerinin eniyilenmesi amacıyla Taguchi Tekniği ve Hedef Programlama Yöntemini kullanmışlardır. Kırış vd. (2009) ise yaptıkları çalışmada, bir motora ait hava aralığı hata sayısı ile bunun toplam üretim hacmi içerisindeki payının yüksek olması sonucu oluşan ilgili kalite karakteristiklerini tespit ederek Taguchi yöntemi ile iyileştirme çalışmaları gerçekleştirmişlerdir. Yükseloğlu ve Gültekin (2009) ise oksijen bazlı ağartıcı temizlik maddelerinin pamuklu kumaşlardaki sararma üzerine etkisini incelemek için deney tasarımı yöntemini kullanmışlardır. Aytaç vd (2009) lastik kordu üretiminde büküm yönünün etkilerini Taguchi ve tam etkensel deney tasarımıyla incelemişlerdir. Demir vd. (2009), alüminyum dökümde mekanik

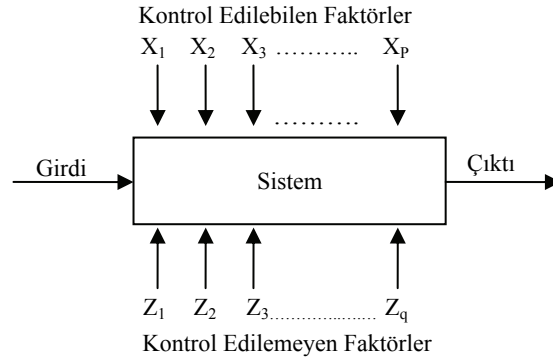
özellikleri etkileyen parametreler için DT yöntemini kullanmışlardır. Görüldüğü gibi Deney Tasarımı literatürde yaygın kapsamlı bir şekilde uygulanan ve kullanılan bir yöntemdir.

Bu çalışmada, ikinci bölümde deney tasarımı hakkında bilgi verilmiştir. Üçüncü kısımda ise yassı çelik üretiminde karşılaşılan yapışma problemi deney tasarımı yardımıyla incelenmiş ve veriler Minitab 15.0 istatistik programı ile değerlendirilmiştir. Son bölümde ise sonuçlar yorumlanmıştır.

## 2. Deney Tasarımı

Deney tasarımı, sürecin incelenen kalite karakteristiğine etki eden kontrol edilebilir değişkenlerin değerlerini sistematik olarak değiştirerek süreç performansını etkileyecek değişken değerlerini belirlemede kullanılan bir tekniktir (Montgomery, 2005). Deney Tasarımı, bir süreçteki girdi değişkenleri üzerinde istenilen değişikliklerin yapılmasıyla cevap değişkeni üzerindeki değişkenliğin gözlenmesi, elde edilmesi ve yorumlanması olarak tanımlanabilir (Besterfield vd., 1995). Bir deney için tasarımda; problemin genel amacının, incelenecek girdi değişkenlerinin ve düzeylerinin, deneyin çıktı değişkeninin, deneyin nasıl yapılacağına ifadesinin ve uygun analiz yöntemlerinin belirlenmesi gerekmektedir (Gürsakal, 2005).

Deney Tasarımı, süreç optimizasyonunda, süreç değişkenlerinin tanımlanmasında ve prosesteki değişkenliğin azaltılmasında çok önemlidir. Şekil 1’de bir sistemin veya sürecin genel modeli gösterilmiştir. Proses değişkenlerinden  $X_1, X_2, \dots, X_p$  kontrol edilebilir değişkenler ve  $Z_1, Z_2, \dots, Z_q$  kontrol edilemeyen değişkenler olarak adlandırılır (Lunani vd., 1997).



Şekil 1. Bir Sistem veya Sürecin Genel Gösterimi (Montgomery, 2005)

Deney Tasarımı teknikleri, yeni bir süreç geliştirmede ve performans artırma amacıyla mevcut süreci düzeltmede çok önemli bir rol oynamaktadır. Burada amaç, robust bir süreç geliştirmektir. Bunun anlamı, değişkenliğin kaynağı olan, kontrol edilemeyen değişkenlerin ( $Z_1, Z_2, \dots, Z_q$ ) etkisinin en az olduğu süreci geliştirmek demektir (Montgomery, 2005).

İstatistiksel deney tasarımında tam faktöriyel tasarım, Taguchi metodu vb. pek çok farklı yöntem kullanılmaktadır. Bu makalede tam faktöriyel tasarım metodu kullanılacağından dolayı, aşağıda bu yöntem hakkında bilgi verilmiştir.

Bir deneyde birden fazla faktörün söz konusu durumlarda faktöriyel tasarım kullanılmalıdır. Faktöriyel tasarım, her bir faktörün seviyelerinin tüm mümkün kombinasyonlarının denemeye tabi tutulmasıdır. Başka bir ifade ile, tam faktöriyel deney tasarımı en az iki veya daha fazla faktör ve bu faktörlere parametrelere ait en az iki veya daha seviyelerin bulunduğu deneylerde seviyelerin birbirleri ile çarpımları ile oluşan kombinasyondur (Lazic 2004).

Tam faktöriyel deney tasarımı istatistiksel yöntemler ile birleştirildiğinde analiz aşamasında araştırmacılara büyük kolaylıklar sağlamaktadır. Tam faktöriyel deneylerin analizinde Varyans Analizi (ANOVA) ve regresyon analizi kullanılmaktadır. Varyans analizi hangi proses üzerinde hangi faktörlerin ne derecede önemli olduklarını istatistiksel olarak açıklar (Yang ve Targ, 1998). Regresyon Analizi, sebep (bağımsız girdi değişkeni) ve sonuç (bağımlı çıktı değişkeni) arasında net bir matematiksel ilişkinin varlığını tespit etmek için kullanılır (Hamzaçebi ve Kutay, 2003). Bu yöntemler yardımı ile bir faktörün deney üzerindeki etkisi hesaplamak mümkündür. Bu yöntemler işlemlerin sırasında bir değişiklik yapmadan farklılıkların kaynağının belirlenmesine yardımcı olur (Breyfogle, 2003).

### 3. Deney Tasarımı Uygulaması

#### 3.1. Problemin Tanımlanması

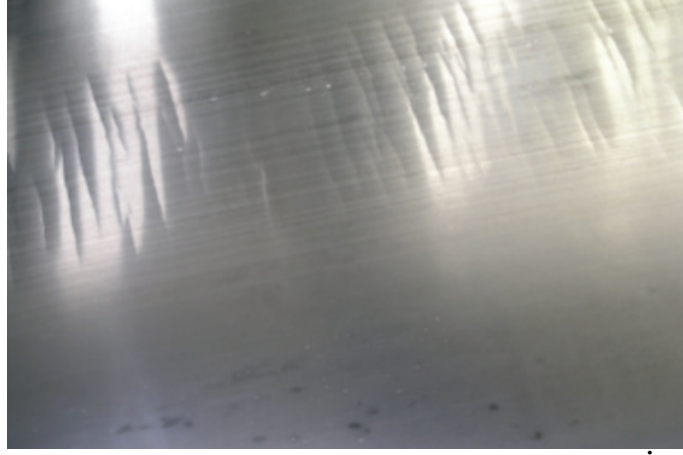
Bu çalışma düşük karbonlu yassı çelik üretimi yapan yarı entegre bir firmada gerçekleştirilmiştir. Soğuk haddelenmiş yassı çelik ürünler, sıcak haddelenmiş yassı çeliklerin, ısıtma işlemi yapılmadan haddelenmesi ile üretilen ve kalınlıkları 0.20–2.00 mm arasında değişen rulo veya sac şeklindeki yassı çelik ürünlerdir. Soğuk şekillendirmeye uygun düşük karbonlu yassı çelikler, otomotiv sektöründe, dayanıklı ev aletleri sektöründe, mutfak eşyaları, radyatör ve havalandırma ekipmanları imalatında, mukavemet, tokluk ve sünekliğin istendiği uygulamalarda kullanılmaktadır (Şekil 2).



Şekil 2. Soğuk Haddelenmiş Yassı Çelik Kullanım Alanları

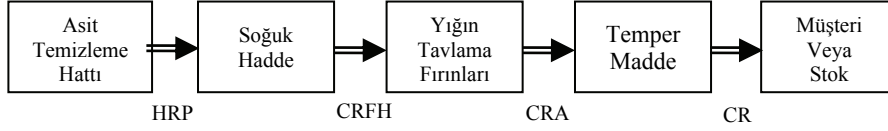
Burada iyileştirilmesi hedeflenen kalite problemi Tavlama sonrası bobin açma esnasında sac sarımlarının birbirine yapışması problemidir. Tavlama işlemi sonrası bobinler gerilim giderme haddesine alınmaktadır. Burada bobin açıcıda açılırken iki sac tabakası birbirine yapışmakta, gözle görülür kırılma izleri oluşmakta, hatta yoğun yapışmalar sonrasında sacda yırtılmalar oluşmaktadır. Bu durumda sac müşteriye gönderilemez duruma gelmektedir. Sac kalitesi düşmekte, fire (hurda) oranı ve maliyet önemli miktarda artmaktadır. Burada belirtilmesi gereken önemli bir husus da; yapışmadan kaynaklanan kırılma izleri ile sacdaki sıcak haddehaneden kaynaklanan rulo kırıkları birbirine karıştırılmamalıdır. Yapışma kırıkları daha çok ince saclarda rulo boyunca veya rulonun herhangi bir yerinde görülebilmekte ve sadece tavlama işlemi sonucunda ortaya çıkmaktadır. Rulo kırığı denilen ve kalın saclarda görülen bu

problem tamamen sıcak haddehane kaynaklıdır ve bobinin baş veya son sarımlarında görülmektedir. Burada iyileştirilmek istenen problem Şekil 3 de gösterilmektedir.



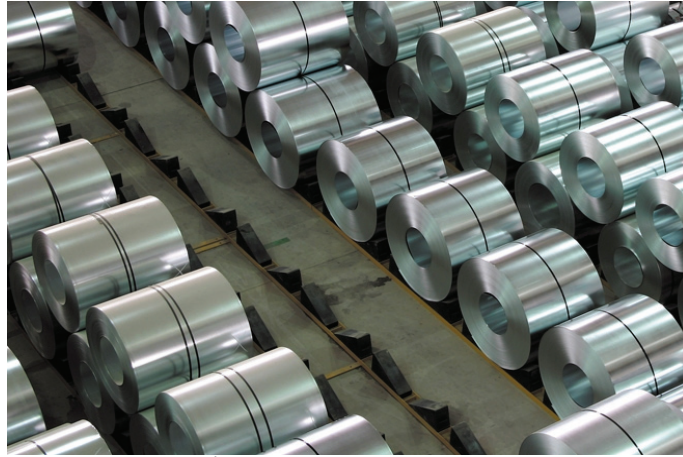
Şekil 3. Sac Açılırken Yapışmadan Kaynaklanan Kırılma İzleri

Bu problemin ortaya çıkış nedenini bulabilmek için öncelikle üretim süreçlerini bilmek gerekmektedir. Firmadaki soğuk sac üretiminde kullanılan üretim süreçleri Şekil 4'de özetlenmiştir. Şekil 5'de ise bu sürecin sonucunda üretilen CR rulo bobinler istiflenmiş şekilde görülmektedir.



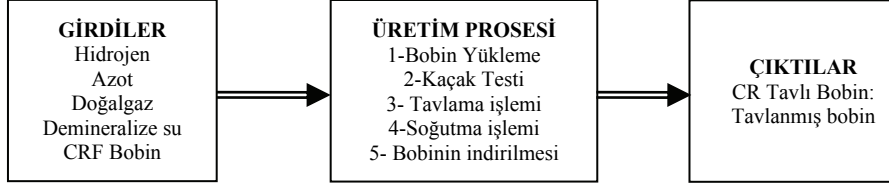
HRP: Sıcak Haddelenmiş asitle temizlenmiş,  
CRFH: Soğuk haddelenmiş tam sert,  
CRA: Soğuk haddelenmiş tavlama,  
CR: Soğuk haddelenmiş

Şekil 4. Firmanın Üretim Prosesleri



Şekil 5. İstiflenmiş Yassı Çelik Bobinler

Daha sonra soğuk haddelenmiş bobinler (CR bobin) yığın tavlama fırınlarında işlem görmektedir. Yığın tavlama fırınları prosesleri ise Şekil 6'deki gibi özetlenebilir. Şekil 7'de Tavlama fırınına bobin yüklemesi görülmektedir.



Şekil 6. Yığın Tavlama Fırını Prosesleri



Şekil 7. Tavlama Fırınına Bobin Yükleme

### 3.2. Problemin Deney Tasarımı ile Çözümü

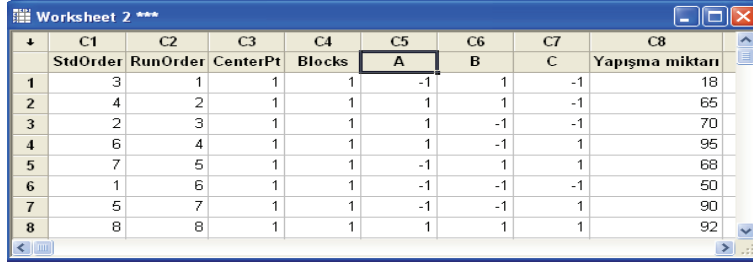
Daha önce firmada her seferinde bir faktörün denenmesini içeren deneyler uygulanmış fakat istenen sonuçlara ulaşılamamış ve maliyet oldukça artmıştır. Bunun üzerine kalite geliştirme süreci için deney tasarımından yararlanılarak, daha az deney sayısı ile hedefe ulaşmak amaçlanmıştır. Her bir ısıl işlem süreci yaklaşık 100 ton civarında yassı çelik içerdiğinden, deney maliyetleri ve üretimde zaman kayıpları yüksektir. Böyle bir durumda deneyler 1 kere tekrarlanmalı, ürün çeşitliliği ile kimyasal kompozisyonları aynı tutulmalı ve faktörler dikkatle seçilmelidir.

Burada amaç yapışma miktarının mümkün olduğunca düşük seviyelerde gerçekleşmesinin sağlanmasıdır. Bu amaçla bu çalışmada iki düzeyli üç faktörlü tam faktöriyel tasarım kullanılmıştır. Firmada gerçekleştirilen beyin fırtınası ve oluşturulan sebep&etki matrisleri sonucunda, yapışma miktarını etkileyen faktörler olarak (A) bobin sarma gergisi, (B) hidrojen miktarı ve (C) ısıl işlem sıcaklığı olmak üzere üç faktör seçilmiştir. Bu faktörlerin düzeylerine ait bilgiler Tablo 1'de verilmektedir.

**Tablo 1. Faktörler ve düzeyleri**

Faktörler	Açıklama	Alt düzey	Üst düzey
A	Bobin sarım gergisi	4.50 N/mm <sup>2</sup> (Bobin sarımının bozulma- dan kalma sınırı)	5.50 N/mm <sup>2</sup> (Uygulanabilen maksimum gergi)
B	Hidrojen miktarı (m <sup>3</sup> /h)	24 m <sup>3</sup> /h	34 m <sup>3</sup> /h
C	Isıl İşlem (Tavlama) sıcaklığı (°C)	690 °C	710 °C

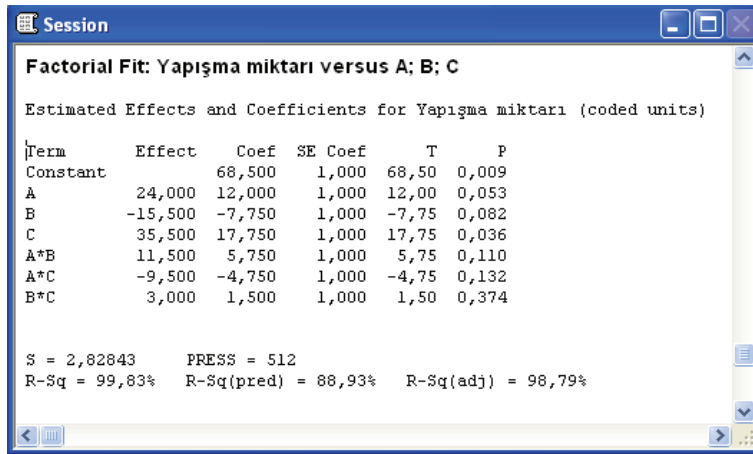
Deneylere başlamadan önce Şekil 8’de görülen deney tasarımı matrisi kodlama yöntemi kullanılarak Minitab 15.0 istatistik yazılım programı yardımıyla oluşturulmuştur. Deney Tasarımına göre yapılan deneyler sonucunda elde edilen yapışma miktarları Şekil 8’de verilmiştir. Yapışma miktarı değerleri sacın açıcıda açılırken gözle muayenesi sonucu sac yüzeyindeki kırılma miktarına ve açılma esnasındaki oluşan sese göre gözlemcinin verdiği karşılaştırmalı değerlerdir. Burada yapışma miktarının küçük olması istenmektedir.



	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
	StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	A	B	C	Yapışma miktarı
1	3	1	1	1	-1	1	-1	18
2	4	2	1	1	1	1	-1	65
3	2	3	1	1	1	-1	-1	70
4	6	4	1	1	1	-1	1	95
5	7	5	1	1	-1	1	1	68
6	1	6	1	1	-1	-1	-1	50
7	5	7	1	1	-1	-1	1	90
8	8	8	1	1	1	1	1	92

**Şekil 8. Deney Matrisi ve Deney Sonuçları**

İlk adımda ana faktör ve ana faktörlerin ikili etkileşimlerinin yapışma miktarını etkileyip etkilemediğini, etkiliyorsa ne ölçüde etkilediğini tespit etmek üzere ikili etkileşimler de deneye dahil edilerek analizler yapılmıştır. Deneyler sonucunda elde edilen Y değerleri (yapışma miktarı) ile çoklu regresyon analizi yapılmıştır. Regresyon analizi sonuçları Şekil 9’de görülmektedir. Bu sonuçlara göre seçilen parametreler (A, B, C, AB, AC, BC) sistemdeki değişkenliğin % 98,79’unu açıklamaktadır. Bu oran oldukça yüksek bir orandır.



Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		68,500	1,000	68,50	0,009
A	24,000	12,000	1,000	12,00	0,053
B	-15,500	-7,750	1,000	-7,75	0,082
C	35,500	17,750	1,000	17,75	0,036
A*B	11,500	5,750	1,000	5,75	0,110
A*C	-9,500	-4,750	1,000	-4,75	0,132
B*C	3,000	1,500	1,000	1,50	0,374

S = 2,82843    PRESS = 512  
R-Sq = 99,83%    R-Sq(pred) = 88,93%    R-Sq(adj) = 98,79%

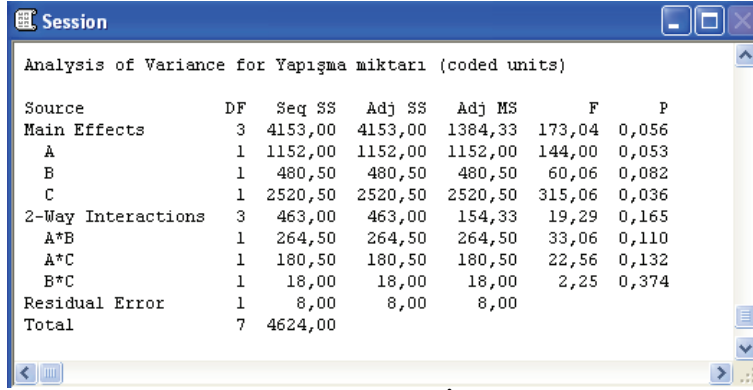
**Şekil 9. Regresyon Analizi Sonuçları (İkili Etkileşimlerle Birlikte)**



Buna göre bu sisteme ait regresyon eşitliği aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$Y = 68,5 + 12,0 A - 7,75 B + 17,75 C + 5,75 AB - 4,75 AC + 1,5 BC$$

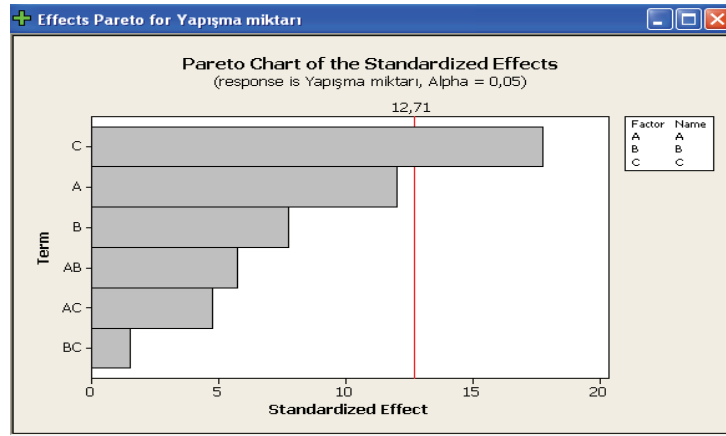
Çoklu regresyon analizi sonuçlarına göre, ikili etkileşimler modele dahil edildiği durumda, 0,05 anlamlılık düzeyinde yapışma miktarına etki eden faktörler ısı işlem sıcaklığıdır ( $p=0,036 < 0,05$ ). Bobin sarım gergisi ( $p=0,053 < 0,10$ ) ve hidrojen sıcaklığı ( $p=0,082 < 0,10$ ) faktörleri ise yapışma miktarını 0,10 anlamlılık seviyesinde etkilemektedir. Faktörlerin ikili etkileşimlerinin yapışma miktarı üzerinde anlamlı bir etkisi yoktur. Şekil 10'de ise bu modele ait varyans analizi sonuçları görülmektedir. Modelin faktörler için anlamlılık seviyesi  $p=0,056$ 'dır ve F değeri ise 173,04'tür. İkili etkileşimler için  $p=0,165$ 'dir ve F değeri 19,29'dur. Bu değerler bize 0,10 anlamlılık seviyesinde faktörlerin modelde kalması gerektiğini ve ikili etkileşimlerin modelden çıkarılabileceğini göstermektedir.



Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	3	4153,00	4153,00	1384,33	173,04	0,056
A	1	1152,00	1152,00	1152,00	144,00	0,053
B	1	480,50	480,50	480,50	60,06	0,082
C	1	2520,50	2520,50	2520,50	315,06	0,036
2-Way Interactions	3	463,00	463,00	154,33	19,29	0,165
A*B	1	264,50	264,50	264,50	33,06	0,110
A*C	1	180,50	180,50	180,50	22,56	0,132
B*C	1	18,00	18,00	18,00	2,25	0,374
Residual Error	1	8,00	8,00	8,00		
Total	7	4624,00				

Şekil 10. Varyans Analizi Sonuçları (İkili Etkileşimlerle Birlikte)

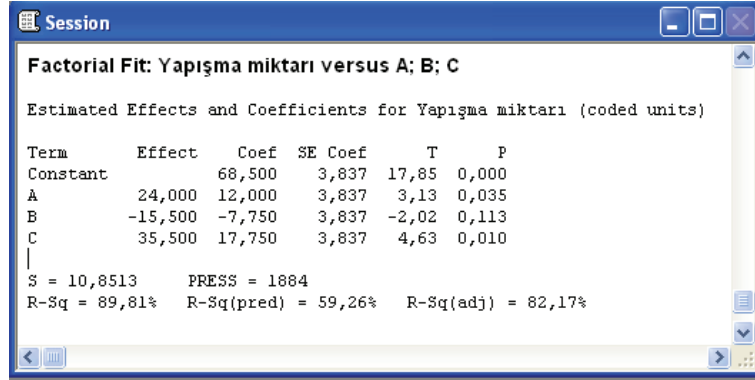
Daha sonra ana faktörler ve ikili etkileşimleri için pareto grafiği oluşturulmuştur. Pareto grafiği analizinde eşik çizgisini geçen faktörler sistemi en çok etkileyen faktörlerdir. Burada 0,05 anlamlılık düzeyinde eşik değeri 12,71'dir. Eşik değerini geçen faktör C (Isıl İşlem sıcaklığı) faktörüdür (Şekil 11). İkili etkileşimlerin dahil edildiği durumda, yapışma miktarını en çok etkileyen faktör ısı işlem sıcaklığıdır.



Şekil 11. Pareto Grafiği (İkili Etkileşimlerle Birlikte)



Daha sonra deneyler sonucunda elde edilen Y değerleri ile faktörlerin ikili etkileşimleri modelden çıkarılarak çoklu regresyon analizi yapılmıştır. Regresyon analizi sonuçları Şekil 12’de görülmektedir. Regresyon analizi sonuçlarına göre seçilen parametreler (A, B, C) sistemdeki değişkenliğin % 82,17’ini açıklamaktadır. Bu oran oldukça yüksek bir orandır.



Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant	68,500	68,500	3,837	17,85	0,000
A	24,000	12,000	3,837	3,13	0,035
B	-15,500	-7,750	3,837	-2,02	0,113
C	35,500	17,750	3,837	4,63	0,010

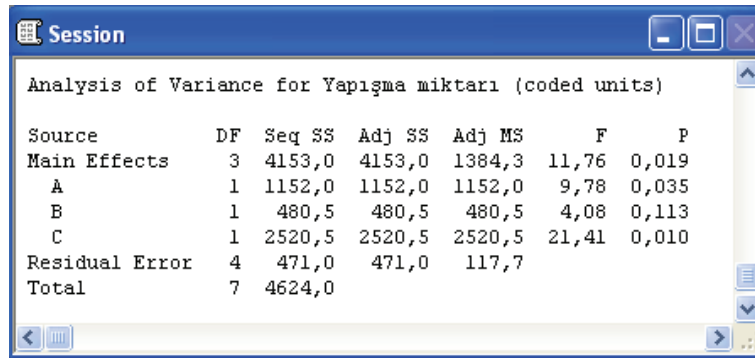
S = 10,8513    PRESS = 1884  
R-Sq = 89,81%    R-Sq(pred) = 59,26%    R-Sq(adj) = 82,17%

Şekil 12. Regresyon Analizi Sonuçları (Ana Faktörler)

Buna göre bu sisteme ait regresyon eşitliği aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$Y = 68,5 + 12,0 A - 7,75 B + 17,75 C$$

Şekil 12’ye göre yapışma miktarını 0,05 anlamlılık seviyesinde en çok etkileyen faktör ısı işlem sıcaklığıdır ( $p=0,01 < 0,05$ ). İkinci en çok etkileyen faktör ise bobin sarım gergisidir ( $p=0,035 < 0,05$ ). Hidrojen miktarının ise yapışma miktarı üzerinde anlamlı bir etkisi yoktur. Şekil 13’de faktörlerin ikili etkileşimleri dahil edilmeden, sadece ana etkilerin dahil edilmesiyle elde edilen modelin varyans analizi sonuçları görülmektedir. F değeri 11,76 ve anlamlılık değeri  $p = 0,019$ ’dur. Bu model 0,05 düzeyinde oldukça anlamlı bir modeldir.

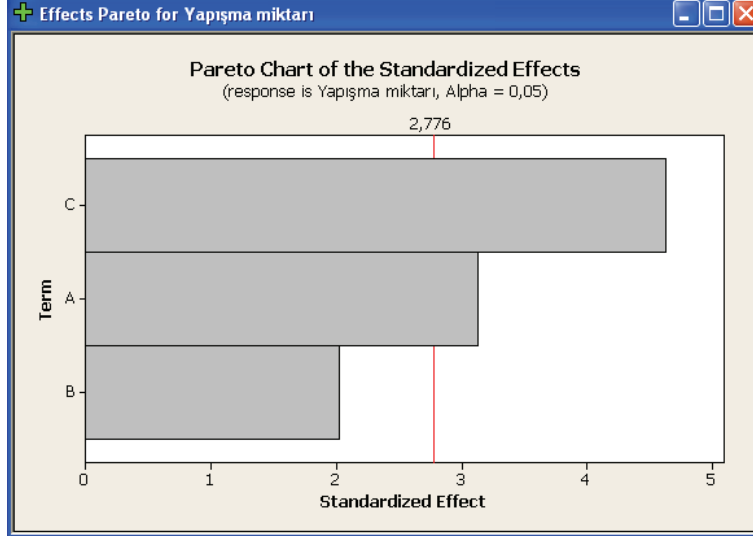


Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	3	4153,0	4153,0	1384,3	11,76	0,019
A	1	1152,0	1152,0	1152,0	9,78	0,035
B	1	480,5	480,5	480,5	4,08	0,113
C	1	2520,5	2520,5	2520,5	21,41	0,010
Residual Error	4	471,0	471,0	117,7		
Total	7	4624,0				

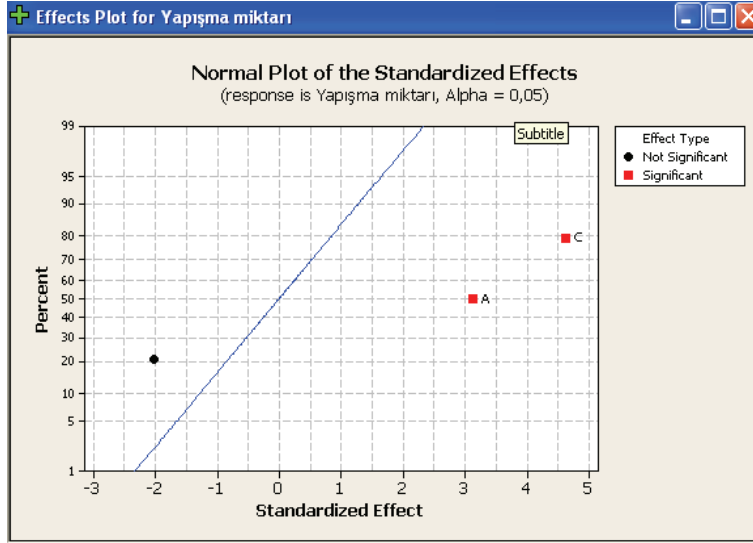
Tablo 13. Varyans Analizi Sonuçları (Ana Faktörler)

Daha sonra ana faktörler için pareto grafiği ve normal dağılım grafiği oluşturulmuştur. Pareto grafiği analizinde eşik çizgisini geçen faktörler sistemi en çok etkileyen faktörlerdir. Burada 0,05 anlamlılık düzeyinde eşik değeri 2,776 ’dır (Şekil 14). Eşik değerini geçen faktör C (Isıl İşlem sıcaklığı) ve A (bobin sarım

gergisi) faktörleridir. Normal dağılım grafiğinin incelenmesi ile de aynı sonuç görülmektedir (Şekil 15).

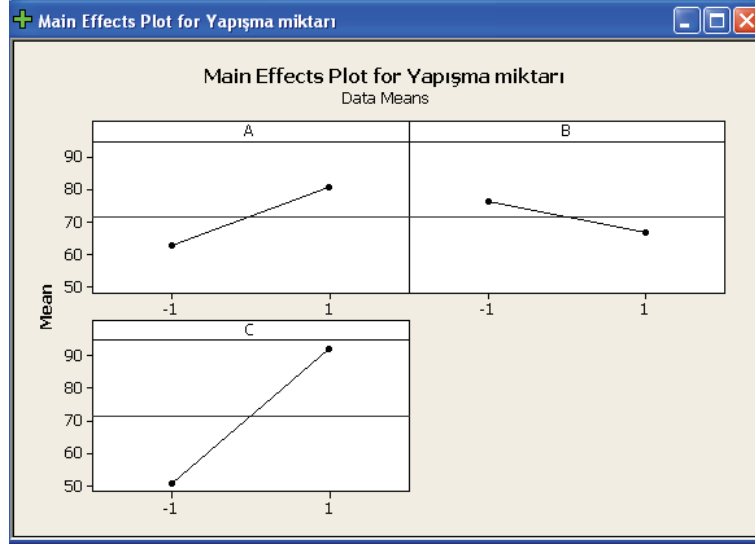


Şekil 14. Faktör (A,B,C) Etkilerinin Pareto Grafiği



Şekil 15. Deney Tasarımı Faktör (A,B,C) Etkilerinin Normal Dağılım Grafiği

Son olarak ana faktör etkileri grafiği oluşturulmuştur. Şekil 16'de bu grafik görülmektedir. Buna göre, (C) ısıl işlem sıcaklığı ve A (bobin sarım gergisi) faktörlerinin B (hidrojen miktarı) faktörüne göre yapışma miktarı üzerinde daha önemli ve anlamlı bir etkiye sahip oldukları görülmüştür.



Şekil 16. Ana Faktör Etkileri Grafiği

#### 4.Sonuç

İkili etkileşimlerin çoklu regresyon modeline dahil edilmediği, hata kısmında gösterilmesi durumunda, varyans analizi sonucuna göre regresyon modeli daha anlamlıdır. Modele sadece faktörlerin ana etkilerinin dahil edildiği durumda hesaplanan p değeri 0,019 dur ve 0,05 'den küçüktür. Bu p değeri aynı zamanda ikili etkileşimlerin analize dahil edildiği durumda hesaplanan  $p = 0,056$  değerinden daha düşüktür.

İkili etkileşimlerin çoklu regresyon modeline dahil edildiği durumda  $R^2$  (%99,83) ve  $R^2(\text{adj})$  (%98,79) değerleri ikili etkileşimlerin modele dahil edilmediği duruma ( $R^2 = \% 89,81$ ,  $R^2(\text{adj}) = \% 82,17$ ) göre daha yüksektir. Ancak  $R^2$  değerinde azalma olsa bile yine de  $R^2$  değeri yüksektir ve modelin anlamlılık düzeyi daha yüksektir. Dolayısıyla ikili etkileşimlerin çalışma dışında bırakılmasında bir sakınca yoktur.

Sonuç olarak, kalite iyileştirme için kullanılan deneysel tasarım tekniği kullanılarak faktörlerden A (bobin sarım gergisi) ve C (ısıtma işlem sıcaklığı) faktörlerinin etkilerinin istatistiksel olarak önemli ve anlamlı olduğu; ikili etkileşimlerin etkilerinin ise istatistiksel olarak anlamlı olmadığı görülmüştür.

Bobin sarım gergisinin en düşük seviyesi  $4,5 \text{ N/mm}^2$  kullanılarak yapılan üretimde yapışma problemi açısından daha iyi sonuçlar alınmıştır. Fakat bu gergi düşük olduğundan bazı bobinlerin fırınlara yükleme esnasında dış ve göbek sarımları açılmış, bu durumu önlemek amacıyla da farklı bir yöntem uygulanmıştır. Dıştan ve içten birkaç sarım daha yüksek gergilerle sarılarak bu bozulma önlenmiştir.

Uygulanan ısıtma işlem süreci yeniden kristalleştirme tavlama olduğu için uygulanabilecek sıcaklık aralığı;  $690 \text{ }^\circ\text{C} - 710 \text{ }^\circ\text{C}$  arasındadır. Isıtma işlem sıcaklığı  $690 \text{ }^\circ\text{C}$  olduğunda yapışma problemi açısından iyi sonuçlar elde edilmiştir. Bu nedenle ısıtma işlem sıcaklığı  $690 \text{ }^\circ\text{C}$  olmalıdır. Ayrıca ısıtma işlemi doğalgaz ve atık hidrojen kullanılarak yapıldığından yüksek sıcaklıklar yüksek maliyet getirecektir. Bu durum

üretim maliyetini önemli ölçüde etkilemektedir. Dolayısıyla üretici firma sıcaklığı minimum seviyede tutmayı tercih etmektedir.

B (hidrojen gazı miktarı) faktörünün etkisinin istatistiksel olarak anlamlı bulunmamasına rağmen, 34m<sup>3</sup>/h düzeyinde uygulanması yapışma miktarının düşük gerçekleşmesine katkıda bulunacaktır.

Sonuç olarak, deney tasarımı kullanılarak yapılan bu kalite iyileştirmesinde olumlu sonuçlar elde edilmiş, kalite problemi kısa sürede az maliyetle önemli ölçüde giderilmiştir. Firma bu problemten kaynaklanan zararını %70 civarında azaltmıştır.

## Referanslar

- ANAWA, E.M. OLABI, A.G. (2008). Using Taguchi method to optimize welding pool of dissimilar laser-welded components. *Optics & Laser Technology*, 40 (2), March, 379-388. ss.
- AYTAÇ, A. YILMAZ, B., DENİZ, V. (2009). Lastik kordu üretiminde büküm yönünün etkilerinin Taguchi ve tam etkensel deney tasarımıyla incelenmesi. [Erişim adresi:] <http://www.Qfdturkiye.Org/Frames/Kfg22-Ayse%20aytac.Pdf>. [Erişim tarihi: 20.01.2009].
- BAHLOUL, R., MKADDEM, A., SANTO, P.D., POTIRON, A. (2006). Sheet metal bending optimisation using response surface method, numerical simulation and design of experiments, *International Journal of Mechanical Sciences*, 48, 991-1003.ss.
- BAYNAL, K., TERZİ Ü. (2005). Çoklu kalite başarımlı özelliklerinin hedef programlama ve Taguchi yöntemi kullanılarak eniyilenmesi. *V. Ulusal Üretim Araştırmaları Sempozyumu*, İstanbul Ticaret Üniversitesi Bildiriler Kitabı, 25-27 Kasım 2005, 573-578.ss.
- BESTERFIELD, D. H., BESTERFIELD,C., BESTERFIELD, G.H., BESTERFIELD, M. (1995). *Total quality management*, New Jersey, Prentice Hall Inc.
- BREYFOGLE F., W. (2003). *Implementing six sigma: smarter solutions using statistical methods*, 2nd ed. John Wiley & Sons, Inc. 549-570. ss.
- CHENG, W.T., LI, H.C., HUANG, C.N. (2008). Simulation and optimization of silicon thermal CVD through CFD integrating Taguchi method. *Chemical Engineering Journal*, 7 (3), 603-613.ss.
- DEMİR, C., MENTEŞE, E. B., TOGAY, M.A. (2009). Alüminyum dökümde mekanik özellikleri etkileyen parametreler için deney tasarımı, [Erişim adresi:] [http://www.componenta.com/userfiles/.../file/pdf/design%20of%20experiment%20of%20s-hrinkage-gas\\_poro... , 1-6 ss.](http://www.componenta.com/userfiles/.../file/pdf/design%20of%20experiment%20of%20s-hrinkage-gas_poro...), [Erişim tarihi: 20.01.2009].
- DIXON, D., EATOCK, J., MEENAN, B.J., MORGAN, M. (2006). Application of design of experiment (DOE) techniques to process validation in medical device manufacture. *Journal of Validation Technology*, 12(2) , 92-100. ss.
- DİZDAR, E.N. (1998). *Üretim sistemlerinde olası iş kazaları için bir erken uyarı modeli*. Yayınlanmamış Doktora Tezi. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği ABD.
- GÜRSAKAL, N. (2005). *Altı sigma müşteri odaklı yönetim*. Ankara, 2. bs., Nobel Yayın.
- HAMZAÇEBİ, C., KUTAY, F. (2003). Taguchi metodu: bir uygulama. *Teknoloji*, 3-4, 7-17.ss.
- KIRIS, S., ANAGÜN, A.S., YÜZÜGÜLLÜ, N. (2009). Bir kalite karakteristiğinin deney tasarımı ile iyileştirilmesi, 1-5.ss. [Erişim adresi:] <http://mmf.ogu.edu.tr/sanagun/Docs/Dok34.pdf>, [Erişim tarihi: 20.01.2009].
- LAZIC', Z.R. (2004). *Design of experiments in chemical engineering: a practical guide*, WILEY-VCH, 157-165
- LUNANI, M., NAIR, V. N., WASSERMAN, G. S. (1997). Graphical methods for robust design with dynamic characteristics. *Journal Of Quality Technology*, 29, 327-338. ss.
- MARGAVIO, G.W., MARGAVIO, T.M. 1993. Quality improvement technology using the Taguchi method, *Cpa Journal*, 63, 72. ss.
- MONTGOMERY, D.C. (2005). *Design and analysis of experiments*, 6th ed., John Wiley & Sons Inc. Newyork. 3-10. ss

- OUDJENE, M., BEN-AYED, L. (2008). On the parametrical study of clinch joining of metallic sheets using the Taguchi method. *Engineering Structures*, 30(6), June, 1782-1788. ss.
- ROJAS, C.R., WELSH, J.S., GOODWIN, G.C., FEUER, A., (2007). Robust optimal experiment design for system identification. *Automatica*, 43, 993-1008.ss.
- ROSA, J.L., ROBIN, A., SILVA, M.B., BALDAN, C.A., PERES. M.P. (2009). Electrodeposition of copper on titanium wires: Taguchi experimental design approach. *Journal of Materials Processing Technology*, 209(3), 1181-1188.ss.
- SAAT, M., (2000). Kalite denetiminde Taguchi yaklaşımı. *Gazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 2 (3), 97-108. ss.
- SAVAŞKAN, M., TAPTIK, Y., ÜRGEN, M. (2004). Deney tasarımı yöntemi ile matkap uçlarında performans optimizasyonu. *İTÜ Dergisi*, 3(6), 117-118.ss.
- YANG, W. H., TARNG ,Y. S., (1998). Design optimization of cutting parameters for turning operations based on the Taguchi method. *Journal of Materials Processing Technology*, 84, 122-129.ss.
- YÜKSELOĞLU, M., GÜLTEKİN, B.C. (2009). Oksijen bazlı ağartıcı temizlik maddelerinin pamuklu kumaşlardaki sararma üzerine etkisi, [Erişim tarihi:] <http://mimoza.marmara.edu.tr/~cgultekin/sar%FDmaraton.pdf>, 1-12. ss. [Erişim tarihi: 20.01.2009].